

## Лекция 6. Источники питания электронных устройств.

Для работы различных электрических устройств необходимы **источники электрической энергии (источники питания) постоянного напряжения**. Преобразование переменного напряжения первичного источника питания (например, промышленной сети переменного тока) в постоянное осуществляется с помощью выпрямителей. Выпрямительные устройства, в состав которых входит блок выпрямителя, применяют для питания большинства электронных устройств, как на дискретных элементах, так и на интегральных микросхемах, в электроприводе, в установках для электролиза и т.д.

Структурная схема выпрямительного устройства показана на рис.6.1. В нее входит: **Тр - трансформатор**, изменяющий величину получаемого от сети переменного напряжения в соответствии с необходимой величиной напряжения на выходе выпрямителя; **В – выпрямитель**, содержащий один или несколько вентилей (диодов); **СФ – сглаживающий фильтр**, уменьшающий пульсации выпрямленного напряжения; **Ст - стабилизатор**, поддерживающий постоянное напряжение на нагрузочном устройстве; **Н – нагрузочное устройство** (например, нагрузочный резистор).

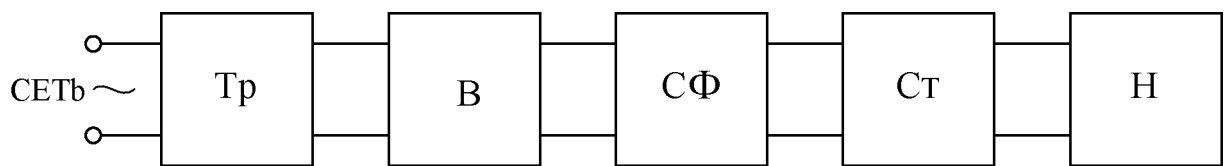


Рис. 6.1. Структурная схема источника питания

В зависимости от требований к выпрямительному устройству отдельные элементы его могут отсутствовать. Выпрямители бывают управляемые и неуправляемые. В управляемом выпрямителе, используемом, в частности, в электроприводе, в структурной схеме предусматриваются также элементы регулирования выпрямленного напряжения.

По числу фаз различают однофазные и многофазные (обычно трехфазные) выпрямители. По величине мощности их подразделяют на выпрямители малой, средней и большой мощности. Выпрямители малой мощности, как правило, однофазные, а средней и большой – трехфазные.

Выпрямитель характеризуют следующие основные параметры:

Среднее выпрямленное напряжение на нагрузке  $U_{н ср}$ , средний ток  $I_{н ср}$ , определяемые требованиями потребителя; коэффициент пульсаций на выходе  $P$ . последний характеризует величину пульсаций на выходе выпрямителя и определяется

$$P = \frac{U_{н м}}{U_{н ср}},$$

где  $U_{нт}$  – амплитуда основной гармоники выпрямленного напряжения.

Рассчитывают диоды для выпрямителей по основным параметрам:

Максимальное обратное напряжение на диоде  $U_{обр\ m}$ , средний ток  $I_{a\ ср}$ , и максимальный ток  $I_{a\ m}$ , диода.

Полученные значения  $U_{обр\ m}$ ,  $I_{a\ m}$  и  $I_{a\ ср}$  не должны превышать соответствующих предельных параметров диода.

Анализ работы выпрямителей проводят при допущениях, что диод (вентиль) и трансформатор идеальны. Это означает, что

а) вентиль идеален, когда сопротивление вентеля в прямом направлении равно нулю, а в обратном – бесконечно велико,

б) трансформатор идеален, когда активные и индуктивные сопротивления рассеяния обмоток трансформатора равны нулю.

Работа выпрямителя рассматривается с помощью временных диаграмм.

### **Однополупериодный выпрямитель**

Схема и временные диаграммы напряжений и токов однополупериодного выпрямителя приведены на рис.6.2. схема содержит  $Tr$ , в цепь вторичной обмотки которого включены последовательно, диод  $D$  и сопротивление нагрузки  $R_n$ . При принятых допущениях (идеальный трансформатор) следует, что если напряжение  $U_1$  на первичной обмотке трансформатора меняется по синусоидальному закону, то напряжение на вторичной обмотке  $U_2$  также синусоидально.

Ток через диод  $i_n$  появляется в те полупериоды, когда потенциал точки **a** выше потенциала точки **b** вторичной обмотки трансформатора т.к. в эти полупериоды диод  $D$  открыт. Когда потенциал точки, а отрицателен по

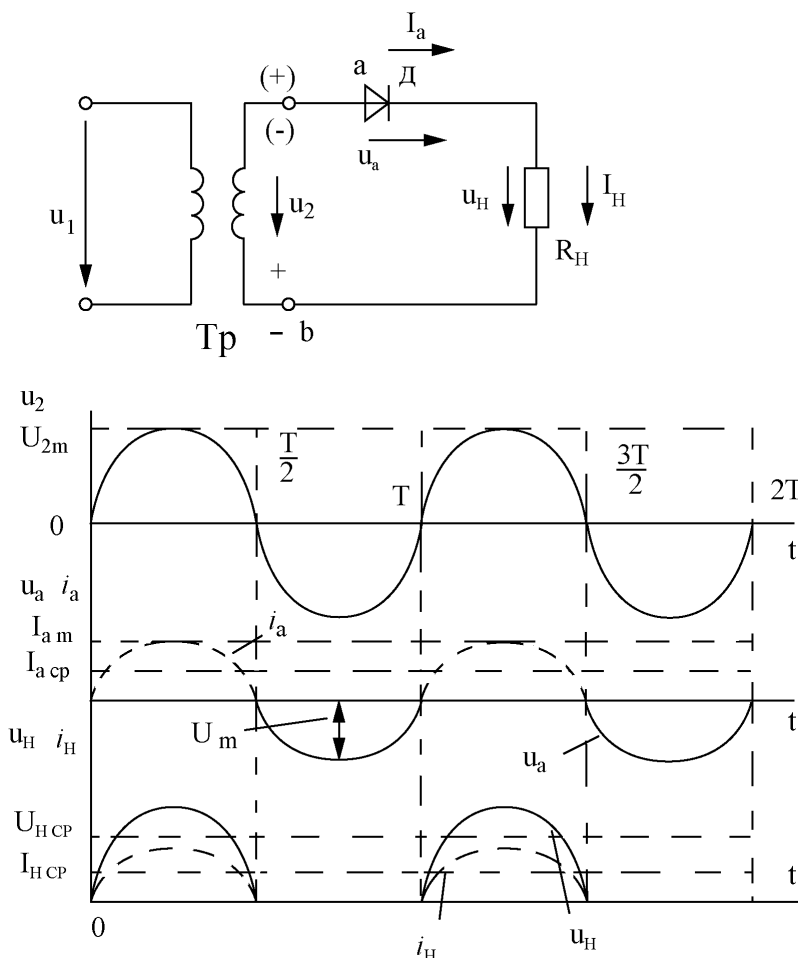


Рис.6.2. Однополупериодный выпрямитель

величина  $u_a = u_2$ . В этой схеме  $U_{H\text{cp}} = 0,4U_2$ . Недостатки этой схемы – высокий уровень пульсации ( $P=1,57$ ). Эти недостатки устраняются в **двухполупериодных схемах выпрямителей**, в которых используются оба периода напряжения сети. Наиболее распространенной схемой является мостовая схема двухполупериодного выпрямителя.

### Мостовая схема выпрямителя

Мостовая схема двухполупериодного выпрямителя и соответствующие ей временные диаграммы приведены на рис.6.3. В этой схеме диоды  $D_1 - D_4$  включены по мостовой схеме, к одной диагонали которой подведено переменное напряжение  $u_2$ , а к другой подключен нагрузочный резистор  $R_H$ . В течение первой половины периода напряжения  $u_2$ , когда потенциал точки **a** положителен, точки **b** – отрицателен, диоды  $D_1, D_3$  открыты,  $D_2, D_4$  – закрыты, ток  $i_H = i_{a1} = i_{a3}$  течет через диоды  $D_1, D_3$  и нагрузочный резистор  $R_H$ . К диодам  $D_2, D_4$  приложено обратное напряжение вторичной обмотки трансформатора  $u_2$ . В другой полупериод напряжения  $u_2$ , потенциал точки **a** ниже потенциала точки **b**, диоды  $D_2, D_4$  открыты,  $D_1, D_3$  – закрыты, при этом  $i_H = i_{a2} = i_{a4}$  течет

отношению к потенциалу точки **b**, диод закрыт, ток в цепи равен нулю. Таким образом, ток в резисторе  $R_H$  появляется только в один из полу периодов напряжения  $u_2$ , а схема называется однополупериодной. При принятых допущениях (идеальный диод) в положительный полупериод напряжения  $u_2$  величина напряжения на нагрузочном резисторе равна величине  $u_2$ , а на диоде нулю, а в отрицательный полупериод  $u_H = 0$ , а

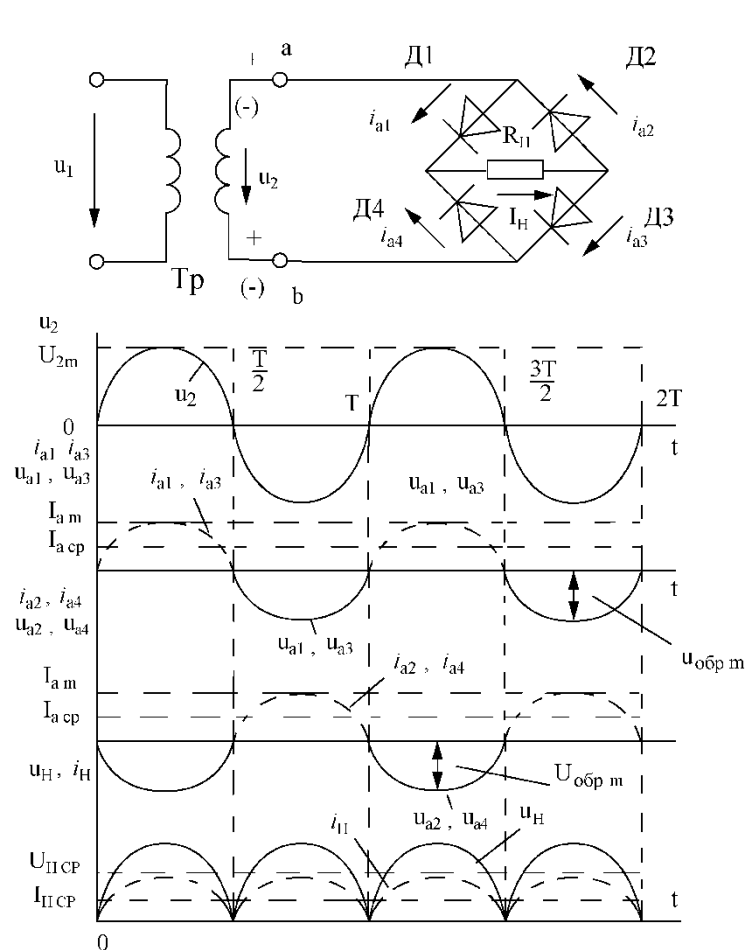


Рис.6.3. Мостовая схема выпрямителя

через диоды  $D_2$ ,  $D_4$  и нагрузочный резистор  $R_H$  в том же направлении, что и в первый полупериод напряжения. При этом средний ток  $I_{Hcp}$  и среднее

напряжение  $U_{Hcp}$  на нагрузке в два раза превышают ток и напряжение в однополупериодном выпрямителе, пульсации значительно меньше ( $P \approx 0,67$ ),  $U_{обр m}$  на каждом из диодов в закрытом состоянии равно  $U_{обр m} = U_{2m}$  величина  $U_{Hcp} = 0,9 U_2$ .

## Сглаживающие фильтры

Выпрямленное напряжение имеет пульсирующий характер и его нельзя непосредственно использовать для питания электронных устройств. Поэтому для уменьшения коэффициента пульсаций на входе выпрямителя применяют сглаживающие фильтры. Включение сглаживающего фильтра между выпрямителем и нагрузочным устройством  $R_H$  уменьшает коэффициент пульсаций напряжения. Величина, показывающая во сколько раз происходит уменьшение коэффициента пульсаций на выходе ( $P_{вых}$ ) фильтра по сравнению с его значением на входе ( $P_{вх}$ ), носит название **коэффициента сглаживания**

$$q = P_{вх} / P_{вых}$$

Фильтры состоят из конденсаторов и катушек индуктивности. Основные виды фильтров – емкостной, индуктивный и смешанный (рис.6.4).

На рис.6.5 показаны осциллограммы напряжений на активном сопротивлении нагрузочного устройства  $R_H$  двухполупериодного

выпрямителя при включенном емкостном  $C_\Phi$  (рис. 6.5.а) и индуктивном  $L_\Phi$  - фильтрах (рис. 6.5.б).

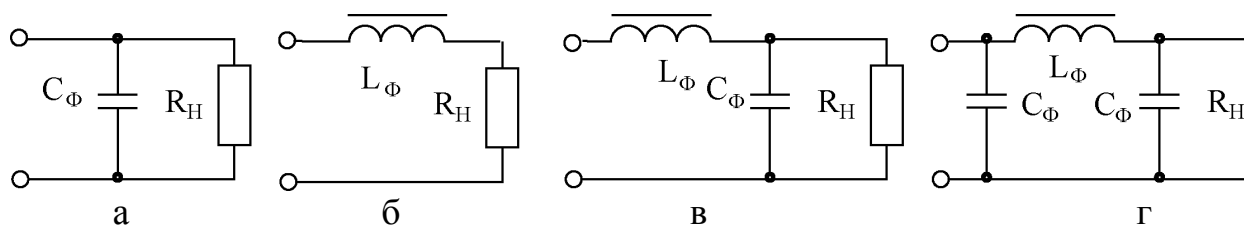


Рис.6.4. Фильтры: емкостной, индуктивный, Г и П - образные

Емкостной фильтр включается параллельно нагрузочному резистору (рис.6.4.а) и шунтирует его по переменной составляющей тока. При этом конденсатор попеременно заряжается до значения напряжения  $U_{Hm}$  (период времени  $t_1 - t_2$  рис.6.5а), а затем разряжается через резистор  $R_H$  (период времени  $t_2 - t_3$  рис. 6.5а). Если постоянная времени разряда конденсатора  $\tau = C_\Phi R_H$  значительно превышает период времени  $T$  изменения  $u_H$ , то напряжение на конденсаторе при разряде уменьшается несущественно за время  $(t_2 - t_3)$ . Это приводит к значительному увеличению среднего значения напряжения на

нагрузочном резисторе  $U_{Hcp}$  и к снижению пульсаций выпрямленного напряжения. Емкостной фильтр используют в маломощных источниках питания при высокоомной нагрузке  $R_H$ .

Индуктивный фильтр  $L_\Phi$  включается последовательно с резистором  $R_H$  (рис.6.5.б). Поэтому переменная составляющая тока через нагрузку значительно уменьшается из-за действия закона электромагнитной индукции – Фарадея (рис.6.5.б) и снижаются пульсации выпрямленного напряжения. Индуктивный фильтр используется в выпрямителях средней и большой мощности с низкоомной нагрузкой  $R_H$ .

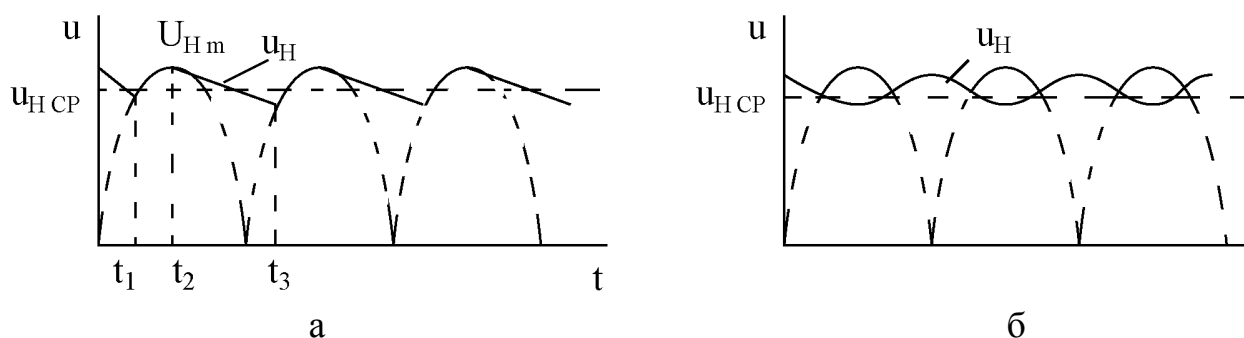


Рис. 6.5. Осциллограммы напряжений на активном сопротивлении нагрузочного устройства  $R_H$  двухпериодного выпрямителя при включенном емкостном  $C_\Phi$  (а) и индуктивном  $L_\Phi$  (б) фильтрах

Чаще всего используются смешанные фильтры: Г - образный LC – фильтр (рис.6.4.в) или П-образный CLC – фильтр (рис.6.4.г). Они обеспечивают более высокую степень сглаживания выпрямленного напряжения. При этом

коэффициент сглаживания смешанного фильтра определяется  $q = q_1 q_2 \dots q_n$ , где  $q_n$  – коэффициент сглаживания каждого простого звена фильтра.

### Внешняя характеристика выпрямителя

**Внешней характеристикой** выпрямителя называют зависимость напряжения на нагрузочном устройстве от тока в нем  $U_H = f(I_H)$ . Наличие такой зависимости обусловлено тем, что в реальном выпрямителе сопротивления диодов и обмоток трансформатора не равны нулю, а имеют конечные значения. На этих сопротивлениях от протекания выпрямленного тока  $I_H$  создается падение напряжения, приводящее к уменьшению напряжения  $U_H$ .

На рис.6.6. изображена зависимость  $U_H = f(I_H)$  выпрямителя без фильтра (кривая 1), где  $U_{Hx}$  – напряжение холостого хода. Кривая 2 на рис.6.6. соответствует выпрямителю с емкостным фильтром. При  $I_H = 0$  кривая берет свое начало из точки на оси ординат, соответствующей напряжению

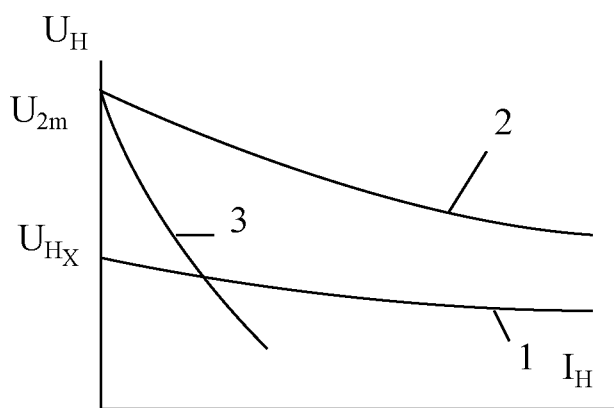


Рис. 6.6. Внешние характеристики выпрямителей

$U_{2m} = \sqrt{2}U_2$ , так как в отсутствии тока  $I_H$  конденсатор  $C_\Phi$  заряжается до амплитудного значения напряжения вторичной обмотки  $u_2$ . с ростом тока  $I_H$  кривая 2 спадает быстрее, чем кривая 1, что объясняется не только увеличением падения напряжения на вторичной обмотке трансформатора и прямым сопротивлении диода,

но и уменьшением постоянной времени разряда  $\tau = R_H C_\Phi$ , обуславливающим дополнительное снижение среднего значения выпрямленного напряжения  $U_H$ . Можно легко показать, что при дальнейшем уменьшении  $R_H$  кривая 2 будет асимптотически стремиться к кривой 1 и при  $R_H = 0$  они придут в одну точку на оси абсцисс.

Внешняя характеристика П-образного фильтра (кривая 3) на рис.6.6. имеет еще более крутой наклон, чем кривая 2. Это вызвано дополнительным падением напряжения на последовательно включенной катушке  $L_\Phi$ .

### Стабилизаторы напряжения

Уменьшение напряжения нагрузки  $U_H$  при изменении потребляемого тока  $I_H$  (рис.6.7.) или из-за изменения температуры является нежелательным явлением, т.к. снижают надежность работы электронных устройств. Поддержание напряжения нагрузочного устройства на заданном уровне обеспечивают **стабилизаторы напряжения**.

По способу стабилизации различают параметрические и компенсационные стабилизаторы.

**Параметрические** стабилизаторы используют в принципе работы свойства ВАХ электронных приборов. Для примера рис.6.7.а приведена схема параметрического стабилизатора, выполненного на основе стабилитрона.

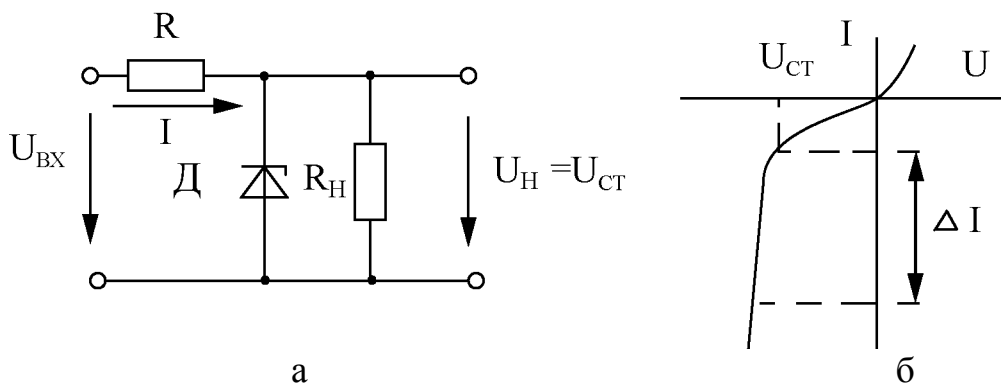


Рис.6.7. Схема параметрического (а) и ВАХ (б) стабилизатора

Стабилитрон  $D$  включен параллельно нагрузке  $R_H$ , при этом изменение тока в пределах  $\Delta I$  практически не меняет  $U_{CT} = U_H$  (рис. 6.7.б). Последовательно со стабилитроном выключен балластный резистор  $R_B$  обеспечивающий требуемый режим работы стабилитрона.

В **компенсационных** стабилизаторах постоянство напряжения обеспечивается за счет автоматического регулирования выходного напряжения источника питания. Это достигается наличием отрицательной обратной связи между выходом и регулирующим элементом (транзистор, микросхема), который изменяет свое сопротивление так, что компенсирует возникающие отклонения выходного напряжения. Схемотехнических решений компенсационных стабилизаторов множество.